

Алексахін О.О.¹, к.т.н., доцент, Єна С.В.², ст. викладач, Гордієнко О.П.², ст. викладач,
Новіков В.В.¹, студент, Цемох Д.О.¹, студент.

¹ Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна

² Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків

ПОРІВНЯННЯ ВАРІАНТІВ ВИКОНАННЯ РОЗПОДІЛЬНОЇ ТЕПЛОВОЇ МЕРЕЖІ МІКРОРАЙОНУ

Ключові слова: централізоване теплопостачання, системи опалення мікрорайону, розподільні теплові мережі, втрати теплоти трубопроводами, закон зміни витрат теплоносія по довжині теплопроводу, енергозбереження.

Важливим резервом підвищення ефективності централізованого теплопостачання є зниження втрат теплоти в теплових мережах, які згідно з нормативними матеріалами можуть становити до 13 % від відпущеної до мереж теплоти [1]. Досягається зменшення теплових втрат застосуванням сучасних ізоляційних матеріалів і технологій при спорудженні і реконструкції теплових мереж, оптимізацією проектних рішень з трасування мереж, дотриманням умов експлуатації теплопроводів [2,3]. За роки становлення і розвитку централізованого теплопостачання інженерна інфраструктура мікрорайону стала одним з підрозділів складної, розгалуженої системи. При розробці проектів теплових мереж житлової групи необхідно враховувати велику кількість факторів: геологічні і містобудівні умови, показники забудови, наявність і можливості джерел теплової енергії і магістральних мереж від них тощо.

Важливими показниками при виборі варіанта виконання мікрорайонної теплової мережі є характеристики гідравлічного і теплового режимів [4,5]. Величина витрат теплоносія на ділянці теплової мережі обумовлює повну теплоємність потоку речовини, його теплоакумулюючу здатність й інтенсивність охолодження теплоносія. Чим більше витрати теплоносія на ділянці, тим менше його охолодження і вище температура, а отже більше втрати теплопередачею до оточуючого середовища. Проектуючи мережу відповідним чином, можна формувати закон розподілу витрат теплоносія по довжині трубопроводу і впливати на теплові втрати. У роботі [6] на прикладах систем теплопостачання ідеалізованих груп будівель проаналізовано вплив закону зміни витрат теплоносія по довжині теплопроводу на втрати теплоти у мережі.

Метою роботи є оцінка впливу розподілу витрат мережної води по довжині трубопроводу розгалуженої теплової мережі на втрати теплоти теплопроводами системи опалення житлового мікрорайону.

Сформульовані підходи проілюстровано на прикладі опалювальної мережі 522-1 мікрорайону Салтівського житлового масиву у м. Харкові. Система розподільних теплопроводів має дві основні гілки з приблизно однаковим тепловим навантаженнями приєднаних до гілок будівель. Основні показники теплових мереж подано у табл. 1. Розрахункова схема теплопроводів фрагменту мікрорайонної мережі наведена на рис. 1.

Матеріальну характеристику трубопроводів мережі обчислено за формулою

$$M = \sum_{i=1}^n (d_i * l_i), \quad (1)$$

де d_i, l_i – діаметр і довжина розрахункових ділянок гілки; n – кількість розрахункових ділянок.

Таблиця1 – Характеристики системи опалення 522-1 мікрорайону

Показник	гілка (0-1-21)	гілка (0-19-33)	мікрорайон в цілому
Максимальні витрати теплоти для опалення, МВт	9,9	8,1	18,0
Довжина теплопроводів основного напрямку, м	608	521	1129
Довжина теплопроводів відгалужень, м	627	386	1013
матеріальна характеристика трубопроводів, м ²			
- основного напрямку	99,4	104	203,4
- відгалужень	82,5	99,7	182,2

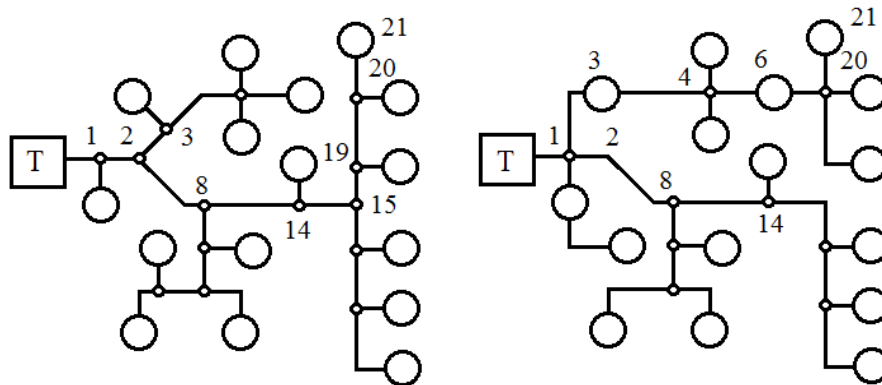


Рисунок 1 – Схема теплових мереж фрагменту 522-1 мікрорайону

T – центральний тепловий пункт; 1...21 – розрахункові точки ділянок мережі, а – проектний («базовий») варіант виконання мережі; б – запропонований варіант реконструкції

Значення діаметрів і довжин ділянок прийнято за проектними даними. Прокладку теплопроводів здійснено переважно у непрохідних каналах. За проектними тепловими навантаженнями приєднаних до теплових мереж будівель визначено витрати мережної води на розрахункових ділянках теплопроводів. Розподіл витрат мережної води вздовж теплопроводу має ступінчастий характер з незмінними значеннями у межах окремих ділянок (рис. 2). Апроксимація реальної зміни витрат теплоносія для головної гілки (0-1-21) наведеного на рис.1 фрагменту мережі має вигляд

$$\bar{G}(\bar{x}) = 1 - 0,94 \bar{x}^{-1,13}, \quad (2)$$

де $\bar{G}(\bar{x}) = G(\bar{x})/G_{\max}$ – локальні відносні витрати теплоносія на гілці; G_{\max} – витрати теплоносія на вході до гілки; $\bar{x} = x/L$ – відносна координата.

Для гілки (0-19-33) мережі апроксимація реального розподілу витрат по довжині головної гілки має вигляд

$$\bar{G}(\bar{x}) = 1 - 0,96 \bar{x}^{-0,92}. \quad (3)$$

Значення показника ступеня у рівнянні, що описує розподіл витрат мережної води, більше одиниці обумовлює незначне зменшення величини витрат на вхідних ділянках гілки і різке зниження витрат на кінцевих ділянках. При значеннях показника ступеню менше одиниці спостерігається більш суттєве зниження витрат теплоносія на ближніх до входу до гілки мережі ділянках з поступовим зменшенням витрат до мінімальної на гілці величини G_{\min} . У першому випадку слід очікувати більш помітний вплив заходів з реконструкції мережі на втрати теплоти трубопроводами. Тому для подальшого розгляду прийнято гілку (0-1-21), для якої показник ступеня у рівнянні закону зміни витрат $n > 1$.

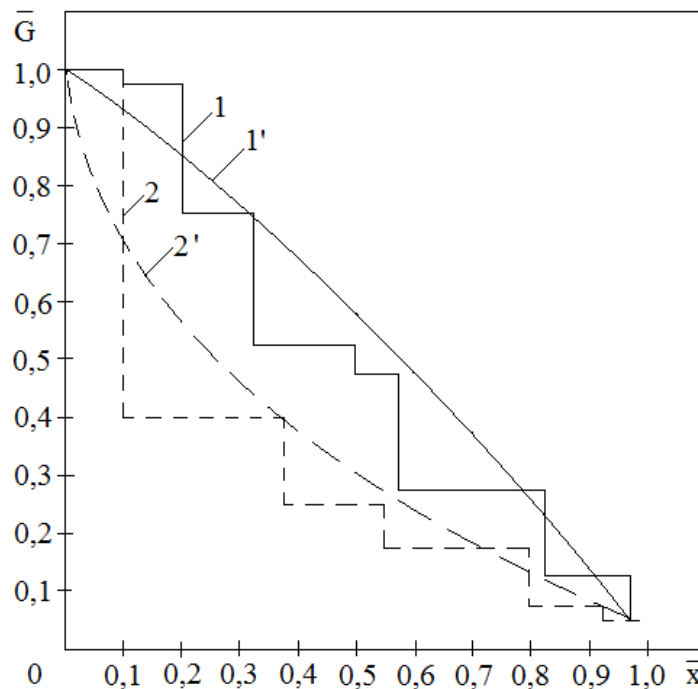


Рисунок 2 – Розподіл витрат мережної води по довжині головної гілки (0-1-21) опалювальної мережі мікрорайону

1, 2 – фактичний розподіл відносних витрат мережної води для вихідного («базового») і запропонованого варіантів виконання мережі відповідно; 1', 2' – апроксимація закону розподілу відносних витрат мережної води для вихідного і запропонованого варіантів відповідно

Втрати теплоти трубопроводами опалювальної мережі обчислено з використанням викладеної у роботах [7,8] методики. Питомі теплові втрати через теплову ізоляцію

трубопроводів прийнято на рівні нормативних значень [9]. Втрати теплоти конструктивними елементами мереж враховано коефіцієнтом $k = 1,15$ [8]. Температуру ґрунту на глибині вісі теплопроводу прийнято рівною $5\text{ }^\circ\text{C}$ [10]. Температуру води у подавальному трубопроводі на виході з ЦТП до мікрорайонної мережі прийнято $105\text{ }^\circ\text{C}$, на виході з системи опалення будівель $70\text{ }^\circ\text{C}$. Порівняння варіантів виконання гілки (0-1-21) опалювальної мережі мікрорайону подано у табл. 2.

Таблиця 2 – Показники варіантів виконання теплових мереж гілки опалювальної мережі мікрорайону

Параметр	Варіант	
	«базовий»	після реконструкції
Опалювальне навантаження, МВт	9,9	9,9
Середній діаметр трубопроводу головної гілки, м	0,164	0,136
Матеріальна характеристика трубопроводів головної гілки, м^2	99,4	74,4
Зміна* матеріальної характеристики трубопроводів головної гілки, %	0	-25%
Матеріальна характеристика трубопроводів відгалужень, м^2	82,5	95,02
Зміна* матеріальної характеристики трубопроводів відгалужень, %	0	+15%
Зміна* матеріальної характеристики мережі в цілому, %	0	-6,9%
Співвідношення матеріальних характеристик трубопроводів відгалужень і головної гілки	0,83	1,28
Відносні мінімальні витрати мережної води на головній гілці G_{\min}	0,06	0,06
Відносні середні витрати мережної води на головній гілці, $G_{cp}/G_{від}$	0,574	0,34
Втрати теплоти трубопроводами мережі, кВт	224,55	212,1
Зміна* теплових втрат, %	0	-5,5

Примітка: * – «+» – збільшення, «-» – зменшення.

Середній діаметр трубопроводу і середні витрати мережної води обчислено за формулами (4) і (5) відповідно

$$d_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n (d_i * l_i)}{\sum_{i=1}^n l_i}, \quad (4)$$

$$\bar{G}_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{G}_i * l_i)}{\sum_{i=1}^n l_i}. \quad (5)$$

Виконання теплової мережі за запропонованим варіантом (рис.1,б) забезпечує перехід на новий закон розподілу витрат мережної води по довжині головної гілки (рис. 2), який можна апроксимувати формулою

$$\bar{G}(\bar{x}) = 1 - 0,94x^{-0,5}. \quad (6)$$

Показник ступеня у рівнянні витрат теплоносія для нового варіанта менше, ніж для «базового», що дозволяє очікувати зменшення витрат води а, отже і діаметрів трубопроводів ділянок головної гілки. Зменшення середнього діаметру теплопроводів і довжини головної гілки забезпечило для нового варіанта зменшення матеріальної характеристики трубопроводів головної гілки приблизно на 25 %. Незважаючи на зростання матеріалоемності відгалужень (приблизно на 15 %) запропоновані заходи забезпечують зменшення матеріальної характеристики гілки в цілому на 6,9 %. У підсумку можливе зменшення загальних витрат теплоти трубопроводами опалювальної мережі становить приблизно 5,5 %. Реалізація зменшення показника ступеня у рівнянні для закону витрат досягається збільшенням витрат мережної води через відгалуження на найближчих до центрального теплового пункту ділянках гілки.

При формуванні схеми теплових мереж, наведеної на рис. 1,б не враховувалися такі фактори [11], як геологічні умови, наявність існуючої мережі інших інженерних комунікацій і елементів благоустрою території мікрорайону у зоні прокладки «нових» ділянок теплопроводів тощо. При техніко-економічному обґрунтуванні варіантів реконструкції мікрорайонної розподільної теплової мережі слід враховувати не тільки вартість робіт з улаштування опалювальної мережі, але і трубопроводів централізованого гарячого водопостачання [12].

Висновки

1. При виборі схеми виконання розподільної мережі системи опалення групи будівель перевагу слід надавати варіанту з меншим значенням показника ступеня у рівнянні зміни витрат теплоносія по довжині головної гілки мережі. В умовах розгалужених теплових мереж це досягається приєднанням якомога більшої кількості будівель до найближчих до центрального теплового пункту ділянок теплової мережі.

2. Збільшення витрат мережної води через відгалуження на початкових ділянках гілки забезпечує зменшення теплових витрат трубопроводами мережі. Для розглянутого фрагменту житлового мікрорайону зменшення витрат теплоти при розрахунковій для опалення температурі зовнішнього повітря становить 5,5 %.

Література

1. Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарські потреби в Україні // Керівний технічний матеріал 204 України, 244-94. – 1995. – 636 с.
2. Е.П. Шубин Основные вопросы проектирования систем теплоснабжения городов / Шубин Е.П. – М.: Энергия, 1979. – 360 с.
3. А.В. Дмитриев Городские инженерные сети / Дмитриев А.В., Кетаев А.Б. – М.: Стройиздат, 1988. – 176 с.

4. Н.М. Зингер Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем / Зингер Н.М. – М.: Энергоиздат, 1986. – 320 с.
5. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха. Справ. пособие / Под ред. Л.Д. Богуславского – М.: Стройиздат, 1990. – 624 с.
6. О.О. Алексахін Теплові режими опалювальної мережі при утепленні будівель / Алексахін О.О., Бобловський О.В., Жарий К.О., Сидоренко Ж.В., Скорик М.С. – «Комунальне господарство міст», Наук.-технічний збірник, Харків. – 2020. – вип.154, – с. 159–164.
7. А.А. Алексахин Теплотери трубопроводами отопительной сети при изменении расчетной отопительной загрузки зданий микрорайона / Алексахин А.А., Бобловский А.В. – «Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит», – 2011. – №9.
8. Теплова ізоляція будівель.: ДБН В.2.6-31:2016. – К.:Мінрегіонбуд та ЖКГ України, 2016. – 31 с.
9. Проектирование тепловых сетей. Справочник проектировщика / Под ред. А.А. Николаева – М.: Стройиздат, 1965. – 359 с.
10. Будівельна кліматологія: ДСТУ – НБВ.1.1-27:2010. – К.: Мінрегіонбуд та ЖКГ України, 2011. – 123 с.
11. М.В. Губіна Формування житлової забудови в містах. Навч. посібник / Губіна М.В. – К.: ІСДО, 1994. – 136 с.
12. Н.Н. Чистяков Повышение эффективности работы систем горячего водоснабжения / Чистяков Н.Н., Грузинский М.М., Ливчак В.И. и др. – М.: Стройиздат, 1988. – 314 с.

Bibliography (transliterated)

1. Normy ta vказivky po normuvanniu vytrat palyva ta teplovoi enerhii na opalennia zhytlovykh ta hromadskykh sporud, a takozh na hospodarski potreby v Ukraini // Kerivnyi tekhnichniy material 204 Ukrainy, 244-94. – 1995. – 636 p.
2. E.P. Shubin Osnovnyie voprosyi proektirovaniya sistem teplosnabzheniya gorodov / Shubin E.P. – М.: Energiya, 1979. – 360 p.
3. A.V. Dmitriev Gorodskie inzhenernyie seti / Dmitriev A.V., Ketaev A.B. – М.: Stroyizdat, 1988. – 176 p.
4. N.M. Zinger Gidravlicheskie i teplovyie rezhimy teplofikatsionnykh sistem / Zinger N.M. – М.: Energoizdat, 1986. – 320 p.
5. Energoberezhenie v sistemah teplosnabzheniya, ventilyatsii i konditsionirovaniya vozduha. Sprav. posobie / Pod red. L.D. Boguslavskogo. – М.: Stroyizdat, 1990. – 624 p.
6. О.О. Aleksakhin Teplovi rezhimi opalyuvalnoyi merezhi pri uteplenii budivel / Aleksakhin O.O., Boblovskiy O.V., Zhariy K.O., Sidorenko Zh.V., Skoryik M.S. – «Komunalne gospodarstvo mist», Nauk.-tehnichnyi zbirnyk, Harkiv. – 2020. – vyip.154, – s.159-164.
7. А.А. Aleksahin Teplopoteri truboprovodami otopitelnoy seti pri izmenenii raschetnoy otopitelnoy zagruzki zdaniy mikrorayona / Aleksahin A.A., Boblovskiy A.V. – «Energosberezhenie. Energetika. Energoaudit», – 2011. – №9.
8. Теплова ізоляція будівель.: ДБН В.2.6-31:2016. – К.:Minrehionbud ta ZhKH Ukrainy, 2016. – 31 s.
9. Proektirovanie teplovykh setei. Spravochnik proektirovshchika / Pod red. A.A. Nikolaeva – М.: Stroiizdat, 1965. – 359 p.

10. Budivelna klimatologiya: DSTU –NBV.1.1-27:2010. – К.: Minregionbud ta ZhKG Ukrainy, 2011. – 123 p.
11. M.V. Gubina Formuvannya zhitlovoYi zabudovi v mistah. Navch. posibnik / Gubina M.V. – К.: ISDO, 1994. – 136 p.
12. N.N. Chistyakov Povyishenie effektivnosti raboty sistem goryachego vodos-nabzheniya / Chistyakov N.N., Grudzinskiy M.M., Livchak V.I. i dr. – М.: Stroyizdat, 1988. – 314 p.

УДК 658.264

Алексахін О.О., Єна С.В., Гордієнко О.П., Новіков В.В., Цемох Д.О.

ПОРІВНЯННЯ ВАРІАНТІВ ВИКОНАННЯ РОЗПОДІЛЬНОЇ ТЕПЛОВОЇ МЕРЕЖІ МІКРОРАЙОНУ

На прикладі житлового мікрорайону м. Харкова проведено порівняння втрат теплоти трубопроводами розгалуженої мікрорайонної системи опалення для двох варіантів виконання розподільної мережі. Запропонований варіант конфігурації теплопроводів відрізняється від існуючого («базового») законом зміни витрат теплоносія по довжині теплопроводу, для якого характерний підвищений рівень витрат мережної води через відгалуження на початкових ділянках гілки. Фактичний розподіл витрат теплоносія апроксимований ступеневим законом. Відмінність законів зміни витрат враховано величиною показника ступеня. Обчислення теплових втрат проведено для умов підземної прокладки трубопроводів у непрохідних каналах. Температуру мережної води прийнято відповідно до розрахункової для опалення температури зовнішнього повітря за температурним графіком теплової мережі. Питомі втрати теплоти трубопроводами на ділянках мережі прийнято на рівні нормативних значень для вказаного способу прокладки. Температуру ґрунту на глибині вісі теплопроводу прийнято рівною 5 °С. Втрати теплоти конструктивними елементами мереж враховано коефіцієнтом 1,15. Обчислення проведено з урахуванням зміни витрат і температури мережної води на розрахункових ділянках. Витрати мережної води на ділянках мережі визначено за проектними тепловими навантаженнями приєднаних будівель.

Показано, що при виборі конфігурації розподільної мережі системи опалення групи будівель перевагу слід надавати варіанту з меншим значенням показника ступеня у рівнянні зміни витрат теплоносія по довжині головної гілки мережі. В умовах розгалужених теплових мереж це досягається приєднанням якомога більшої кількості будівель до найближчих до центрального теплового пункту ділянок розподільної теплової мережі. Збільшення витрат мережної води через відгалуження на початкових ділянках гілки забезпечує зменшення теплових втрат трубопроводами мережі. Для розглянутого фрагменту житлового мікрорайону зменшення втрат теплоти при розрахунковій для опалення температурі зовнішнього повітря становить приблизно 5,5 %.

Ключові слова: централізоване тепlopостачання, системи опалення мікрорайону, розподільні теплові мережі, втрати теплоти трубопроводами, закон зміни витрат теплоносія по довжині теплопроводу, енергозбереження.

Алексахин А.А., Ена С.В., Гордиенко Е.П., Новиков В.В., Цемох Д.О.

СОПОСТАВЛЕНИЕ ВАРИАНТОВ ИСПОЛНЕНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ МИКРОРАЙОНА

На примере жилого микрорайона г. Харькова выполнено сравнение потерь теплоты трубопроводами разветвленной микрорайонной системы отопления для двух вариантов исполнения распределительной сети. Предлагаемый вариант конфигурации тепловой сети отличается от существующего («базового») законом изменения расхода теплоносителя по длине теплопровода, для которого характерен повышенный уровень расхода сетевой воды через ответвления на начальных участках ветви. Фактическое распределение расхода аппроксимировано ступенчатым законом. Отличие законов изменения расхода учтено величиной показателя степени. Расчет тепловых потерь проведен для условий подземной прокладки трубопроводов в непроходных каналах. Температура сетевой воды принята соответствующей расчетной для отопления температуре наружного воздуха по температурному графику тепловой сети. Удельные потери теплоты трубопроводами на участках сети приняты на уровне нормативных значений для указанного способа прокладки. Температура грунта на глубине заложения оси теплопровода принята равной 5 °С. Потери теплоты конструктивными элементами сети учтены коэффициентом 1,15. Вычисления выполнены с учетом изменения расхода и температуры сетевой воды на расчетных участках. Расход воды на участках найден по проектным тепловым нагрузкам присоединенных зданий.

Показано, что при выборе конфигурации распределительной сети системы отопления группы зданий преимущество следует отдавать варианту с меньшим значением показателя степени в уравнении изменения расхода теплоносителя по длине главной ветви сети. В условиях разветвленных тепловых сетей этого можно добиться присоединением как можно большего числа зданий к ближайшим к центральному тепловому пункту участкам тепловой сети. Увеличение расхода сетевой воды через ответвления на начальных участках ветви обеспечивает уменьшение тепловых потерь трубопроводами сети. Для рассмотренного фрагмента жилого микрорайона уменьшение потерь теплоты при расчетной для отопления температуре наружного воздуха составляет 5,5 %.

Ключевые слова: централизованное теплоснабжение, системы отопления микрорайона, распределительные тепловые сети, потери теплоты трубопроводами, закон изменения расхода теплоносителя по длине теплопровода, энергосбережение.

Aleksakhin O.O., Yena S.V., Hordiienko O.P., Novikov V.V., Tsemokh D.O.

COMPARISON OF OPTIONS FOR THE HEAT DISTRIBUTION NETWORK OF THE RESIDENTIAL NEIGHBORHOOD

The comparison of heat losses by pipelines of an extensive residential neighborhood heating system for two options of the distribution network was carried out for a residential neighborhood in Kharkov. The proposed configuration of the heating network differs from the existing ("basic") one in using of the law of heating medium flow rate variation along the heat

pipe length. This law takes into account increased flow rate of heating water through branches at the initial sections of the pipeline. The actual flow rate distribution is approximated by a step function. The difference in the laws of flow rate variation is taken into account by the exponent value. The calculation of heat losses was carried out for underground pipelining in non-accessible tunnels. The temperature of heat line water is taken to be the corresponding to the design outdoor air temperature for heating according to the temperature schedule of the heating network. Specific heat losses by pipelines in heat network sections are considered to be at the standard level for non-accessible tunnels. The soil temperature at the depth of the heat pipe axis is taken equal to 5°C. Heat losses by the structural elements of the heat network are taken into account by a factor of 1.15. The variation of the flow rate and temperature of network water in rated pipeline sections is considered in the analysis. The water flow rate at the sections was found based on the design thermal loads of connected buildings.

It is shown that when choosing the configuration of the distribution network of the heating system of a group of buildings, preference should be given to the option with a lower value of the exponent in the equation for heating medium flow rate variation along the length of the main line of the network. For extensive heating networks, this can be achieved by connecting as many buildings as possible to the heating network sections close to a heat supply station. An increase in the network water flow rate through the branches at the initial sections of the pipeline ensures a decrease in heat losses by the network pipelines. For the considered part of a residential neighborhood, the decrease in heat loss at the design outdoor air temperature for heating is 5.5 %.

Keywords: centralized heat supply, heating systems of residential neighborhood, distribution heating networks, pipelines heat losses, law of heating medium flow rate variation along the heat pipe length, energy saving.